農作物對二氧化硫之忍受性

Tolerance of Some Field Crops to Sulfur dioxide

蕭榮福[1]　謝式坢鈺[2]　呂明長[2]　高碩廷[2]　蕭淑芬[2]

John-Fu Shiau　Shih-Pan-Yu Hsieh　Ming-Chang Leu　Shih-Ting Kao　Shu-Fen Shiau

臺灣省政府農林廳水土保持局[1]、國立中興大學植物病理學研究所[2]

摘　　要

本文敘述水稻、大豆和玉米對二氧化硫的忍受性，這三種作物處理以二氧化硫所表現病徵和傷害程度，受作物本身條件如品種和生長期、生長條件、處理時之環境因子、二氧化硫處理濃度與時間之影響。水稻葉片有褐色斑、白化斑、褐色及白色之混合斑和萎凋等病徵，褐色斑通常先在葉緣及葉尖出現，然後隨薰蒸時間而延葉脈向下擴大癒合成大病斑，這是水稻受二氧化硫傷害最常見之病徵。大豆處理高濃度二氧化硫（800 ppb 以上），會造成葉片漂白或水浸狀，部分品種（高雄選 10）會出現紅色斑駁，處理低於 800 ppb 病徵類似但程度較輕，處理時間增加均會加重受害程度，病斑擴大癒合，葉片捲曲、壞疽，葉脈仍呈綠色而提早落葉或黃化。玉米處理 800 ppb二氧化硫，新葉較早出現水浸狀及白色條斑病徵，先由葉尖並沿葉緣或葉脈間隙向下蔓延，處理時間增長則中下位葉亦會出現相同病徵而新葉則逐漸乾萎，玉米種植六週後處理二氧化硫會出現黃色斑點病徵，亦隨處理時間增長而逐漸擴大癒合，提早黃化。

測試151 水稻品種對二氧化硫（400、800 或 1600 ppb）之敏感性，發現品種間對二氧化硫之反應差異很大，有些敏感性品種在高濃度薰蒸後一天即出現褐色斑，而另一些品種則在 400 ppb下薰蒸三週後尚無明顯的外觀病徵，一般秈稻比梗稻敏感。初次測試在 400 ppb無病徵之品種共 48 種，重新測試仍有新竹 56 號、新竹 60 號、高雄 10 號、臺中 178 號、臺中 187 號、臺農 16 號、臺農 67 號、臺北 139 號、臺北 306 號及臺東 27號等十種無病徵。

測試大豆116 品種和玉米 1721 品系，結果如同水稻不同品種（系）對二氧化硫呈現不同敏感性，一般玉米較具耐性，大豆則較敏感。溫度越高大部分供試水稻品種受二氧化硫傷害也越大，但溫度對數種敏感的秈稻並不影響。大豆於高溫

(35℃)下較敏感，低溫(25℃)下則具耐性，但溫度對玉米之影響不大。水稻在遮去 86.6 % 光照下薰蒸，傷害顯著降低，在秈稻品種上較明顯。遮光並不影響大豆和玉米對二氧化硫之反應，僅敏感性品種（大豆Palmetto、玉米臺南5號）稍受影響。水稻耐性品種台中糯 70 號在較高風速下被二氧化硫傷害較嚴重，敏感性品種台中糯 70 號則不受風速影響。大豆與水稻相反僅敏感性品種 Hybrid 2217 在較高風速下被二氧化硫傷害較嚴重，而耐性品種在兩風速下並沒有顯著差異。台中糯 70 號在相對濕度(RH) ≧70% 下比RH 低者受二氧化硫傷害有明顯增加，高雄秈2 號在不同 RH 下受二氧化硫傷害則無明顯差異。大豆不管是耐性或敏感品種在高RH 下，受傷害皆很嚴重，在低 RH下幾乎無病徵。

不同生育期處理二氧化硫三種作物表現類似生育期愈短愈敏感，二氧化碳濃度影響三種作物對二氧化硫之敏感性，在高二氧化碳濃度800 ppm 下，明顯減少被害度，不同量氮肥改變水稻敏感性，施用高氮肥可降低被害度。大豆缺氮及磷肥之易受傷害。土壤含水分少時，大豆受害較輕微，土壤水份潛勢低於-0.85 MPa 時幾乎沒有病徵。

ABSTRACT

This paper described the effect of sulfur dioxide on plants of soybean, corn and rice. The symptoms on leaves of soybean caused by high concentrations (more than 1 ppm) of sulfur dioxide generally induced bleaching or watersoaking. Various shapes of red mottlings might develop on varieties like Kaoshiung sel. 10, etc. At concentrations below 800 ppb soybean showed similar but relatively mild symptoms which became more serious after the extension of duration of treatment . As lesions enlarge, necrotic blotches appeared and leaves curl. However, the color of leaf veins usually remained unchanged. Eventually, these leaves turned yellow and fell prematurely.

The bleaching streaks and watersoaking symptoms of corn caused by sulfur dioxide appeared mostly at tips of unexpanded leaves and then extended downward to the margin and the intercostal areas. Similar symptoms appeared on expanded leaves on subsequent days of treatments. Finally, the unexpanded leaves became flaccid and desiccate. The tiny yellow spots might appear on old leaves of some corn varieties. These spots gradually coalesced and the leaves then turned yellow.

Various sizes of brownish spots, white blotches, mixed spots and wilting were ordinarily found on treated rice plants. Brownish spots usually began from leaf tips and leaf margins, spread downward between the leaf veins and coalesced into a large blotches after a long fumigation period. Brownish spots were the most frequently observed symptoms on rice plants. Under high sulfur dioxide concentration, brownish spots appeared a day after fumigation on some sensitive varieties.

Under concentration of 400 ppb, some varieties showed no visible symptoms even after three weeks of fumigation. Generally, indica varieties were more sensitive than japonica varieties.

Of the one hundred and fifty one rice varieties tested for their reactions to sulfur dioxide at 400, 800 or 1600 ppb in concentration, forty-eight varieties were tolerant and showed no visible symptoms after fumigation with 400 ppb sulfur dioxide at first trial. These varieties were retested during summer; and of these only 10 namely Hsinchu 56, Hsinchu 60, Kaohsiung 10, Taichung 178 , Taichung 187, Tainung 16, Tainung 67, Taipei 139, Taipei 306 and Taitung 27 showed no visible symptoms. One hundred and sixteen soybean varieties and 1721 corn lines were screened for tolerance to sulfur dioxide. There were a great deal of differences among varieties or lines.

Temperature affected the expression of symptoms, the higher the temperature, the more severe were the symptoms. However, in sensitive indica varieties the temperature effect was not evident . High temperature enhnaced sulfur dioxide damage to soybean. However, severity of corn by sulfur dioxide was not effected by temperature.

By shading 86.6% sunlight, the damages of sulfur dioxide on rice plants were reduced significantly. However, light densities did not affect the sensitivities of corn and soybean to sulfur dioxide significantly. At higher wind speed of 2.6 m/s, SO_2 induced significant high injury to some rice and corn varieties. Soybean injury caused by SO_2 was very severe at high relative humidity (RH) and almost no symptoms at low RH.

The growth stages of corn, soybean and rice plants were affected by their sensitivity to sulfur dioxide. In general, the young plants were more sensitive than mature plants.

Carbon dioxide affected the sensitivity of rice plants and soybean to sulfur dioxide, the degree of injury being reduced significantly when carbon dioxide levels were raised to 800 ppm. However, there were no significant differences in the extent of damage on corn when concentration of carbon dioxide in fumigation chamber was increased.

Nitrogen levels affected the severity in rice plants caused by sulfur dioxide. Damage was reduced significantly at high nitrogen level. Soil fertilization also affected the sensitivities of soybean to SO_2. Under nitrogen and phosphorus deficiency, soybean expressed high sensitivity to SO_2 damage. But when the amount of these fertilizers were increased, the degree of damage decreased proportionally. Soybean injury induced by SO_2 generally was greater at high soil water content than at low soil water content. Nearly no symptoms caused by SO_2 when soybean was grwon in soil with water potential lower than -0.85 MPa.

前　　言

近年來由於對環保之認知，人們不僅追求舒適的生活，更重視整個生活空間之品質，然而經濟與工業發達結果，工廠林立，在享受高度文明成果之餘，必需面對各種文明副產物－污染。

環境污染源的種類很多，空氣污染一詞，依工程師聯合協會(Engineers Joint Council) 定義(無名氏 1990) 是指存在大氣中之一種，或多種有害物質，如灰塵、煙霧、臭味或蒸氣，由於它們的過量和特異性狀，使人類、動物或財產受到傷害，生活舒適性受到干擾，而動植物更易因環境的改變而受到傷害，因其暴露在空氣污染物下毫無退避餘地。

在眾多的空氣污染源中，以硫化物所佔比率最高，而其中又以二氧化硫爲最。二氧化硫主要來源有火力發電廠燃煤及石油煉製、硫磺與硫酸之製造等，有些植物體本身亦會因分解而產生二氧化硫。二氧化硫不僅可直接傷害動植物，亦可間接地形成酸雨，而使影響層面更深廣。

台灣地狹人稠，許多農地與工廠仳鄰並存，因而時有糾紛出現，本省水稻栽培面積最大，受害面積和損失也最嚴重。根據臺灣省環境保護局於民國六十八年至七十二年所作調查發現，水稻受害面積約佔總受害面積的百分之六十七，而硫氧化物約佔總受害面積的百分之三十三 (無名氏 1990)，因此若是工廠對廢氣處理不當，極易對附近之作物造成傷害。這些糾紛事件中，約有三分之一是因二氧化硫污染引起 (李和李 1984；鄭 1985)。另外近年政府推行稻田轉作政策，使得雜糧作物種植面積逐漸擴充，因而空氣污染傷害之糾紛時有所聞。由於空氣污染日趨嚴重，有關空氣污染與植物關係的研究漸多，但多偏重於少數品種和生理方面之研究，很少就同一作物不同品種（系）間的差異和栽培環境（氣象、土壤條件等）做較完整的探討。本文以水稻、大豆和玉米爲材料，探討不同品種（系）對二氧化硫之忍受性，以及各種環境因子影響二氧化硫對農作物之傷害，以期能提供診斷和育種的參考，有助於解決層出不窮的糾紛事件，減少因公害所引起之損失。

材料與方法

一、燻蒸室設計：

燻蒸設備爲利用透明密封之玻璃蓋成，大小(長×寬×高)爲2×2×2.5 公尺。燻蒸箱內四角落各裝置一小風扇（直徑12×12cm）以攪拌氣流，並裝置冷氣機一台及溫濕度計錄器(RATONA, Model R-704, SATO KEIRYOKI) 以控制箱內之溫度，同時預留數小孔以便氣體之進入及抽送氣體監測其濃度，並有一門可供放入供試植物。燻蒸箱共有七組，以供處理及對照同時進行。

二、燻蒸氣體的施用及控制：

1.二氧化硫：

裝有 5 % 二氧化硫及 95% 氮之鋼瓶(40 kg/cm^2, 三福化工) 經過氣壓調整器(2 kg/cm^3)、流量計而進入燻蒸箱中，藉冷氣機之風力及小型風扇將之吹散攪拌均勻。二氧化硫濃度之測定則經由一小型乾式抽氣馬達，將氣體由燻蒸箱中抽出，由二氧化硫氣體測定儀(Monitor Labs Model 8850 Fluorescent SO_2 Analyzer 或 CSI Model SA700 fluorescent SO_2 analyzer) 自動取樣連續記錄測定，並隨時調整流量計以使濃度穩定。二氧化硫測定儀每七天用校正儀 (Monitor Labs model 8850 Calibrator 或 VICI Model 110 Dynacalibrator)校正其準確性。

2.二氧化碳：

二氧化碳之施用及控制同二氧化硫一樣，其濃度測定則由二氧化碳氣體測定儀(CO_2 analyser SB-300, The Analytical Development Co.) 自動取樣測定。

三、材料各品種(系)之來源：

大豆 116品種（系）分別由農試所大豆研究室、台南農改場、花蓮農改場、高雄農改場提供。玉米1721品種(系)由農試所玉米研究室提供，水稻151品種由各農業改良場提供。

四、供試作物之準備：

將供試大豆和玉米直接分別播種於裝有混合有機肥料之壤土（壤土：有機肥約 20:1）的方型塑膠盆缽(長×寬×高爲60×17×19cm)及圓型直徑 25 公分之塑膠盆缽中，待其發芽出土後，每隔十天施用一次複合肥料（台肥 5 號）每盆約 2 克。稻種用 2000 倍包您好（25 % 撲克拉乳劑）消毒 1 小時後，在 30℃ 之定溫箱中催芽，發芽後撒播於育苗盆中，約 20-30天後移植到方型塑膠盆缽。移植後 10 天施用尿素一次, 每盆 2 克，以後每 10-15 天追用尿素一次，每盆 3克。以上作物播種或移植後一週施用適量好年冬（3%加保扶粒劑）以防蟲害，以後每 10 天施用一次。

五、植株被害度調查及計算：

1.依被程度將病徵分爲七級

0 級：無病徵

1 級：病斑佔葉面積 1/10 以下

2 級：病斑佔葉面積 1/10～1/5

3 級：病斑佔葉面積 1/5～1/3

4 級：病斑佔葉面積 1/3～1/2

5 級：病斑佔葉面積 1/2 以上

6 級：整個葉片佈滿病斑且呈萎凋捲曲狀

2.被害係數(Diseases Index)之計算：

$$\text{被害係數}(\%) = \frac{1\text{級葉數}+2\text{級葉數}\times 2+3\text{級葉數}\times 3+4\text{級葉數}\times 4+5\text{級葉數}\times 5+6\text{級葉數}\times 6}{\text{總葉數}\times 6}\times 100\ \%$$

3.依被害度分為四種抗感性：

抗 (R) = 0 ～ 25 %

中抗(MR) = 25.1 ～ 50 %

中感(MS) = 50.1 ～ 75 %

感 (S) = 75.1 ～ 100 %

六、氣象因子對二氧化硫傷害作物之影響：

1.光照：

利用遮陰網裝置成長、寬、高分別為 140 × 45 × 137 cm之遮光設備，用測光計測其遮光率，約可遮去光度 85～87%，利用此裝置進行光照對二氧化硫傷害之影響。

2.溫度：

利用冷氣機將燻蒸室內之溫度控制在35℃、30℃、25℃，在此三種溫度下處理二氧化硫以了解溫度對二氧化硫傷害之影響。

3.風速：

利用燻蒸室四角之小風扇及兩台直立式電風扇吹動，經三杯風速計(OTAKEIKI SEISAKOSHO) 測得兩種風速分別為 2.6 m/s 及0.8 m/s，進行風速對二氧化硫傷害影響之研究。

4.相對濕度：

利用加濕計(HERRMIDIFIER) 控制燻蒸室內相對濕度在 RH ≧ 90%,RH ≧ 70%, RH ≧ 50% 及 RH ≧ 30%,在此四種相對濕度下處理二氧化硫，以了解相對濕度對二氧化硫傷害農作物之影響。

七、二氧化碳對二氧化硫傷害作物之影響：

處理二氧化硫之同時添加二氧化碳使其濃度為 800、400 ppm 及對照組不添加等三種處理。

八、作物不同生育期對二氧化硫之敏感性：

每十天種植一批，俟其達不同生育期後，移入燻蒸室處理800 ppb 之二氧化硫。處理後調查記錄其病徵並計算其被害度。

九、土壤條件對二氧化硫傷害作物之影響：

1.氮、磷、鉀：

砂質壤土先陰乾，再依每 10 公斤土添加 N_2、P_2O_5、K_2O 各2 克之比率換算，分別添加尿素4.3 克，氯化鉀 5.3克，過磷酸石灰11.1克，做爲標準肥料，然後再將 N、P、K 分別依不同比率添加，（即2：1.5：1：0.5：0）配製成 13 種不同肥分之處理。而原土壤含有效性磷 (A.P)82.1 ppm，交換性鉀 (Ex. K) 67.5 ppm，和全氮(T.N)0.1%。

2.土壤含水量：

將砂質壤土裝入內徑12.8公分，高11.5公分塑膠盆內，由盆底孔隙裝入日本鐘紡公司所開發之聚乙烯甲酯 (PVF：polyvinyl formal)板條，寬度切成2 公分，厚 0.3 公分，長度依需要裁定。每盆裝設兩條PVF，其中8 cm 之PVF埋在塑膠盆土壤中，盆底與儲水瓶瓶口間之 PVF (60, 45, 30, 15, 5 cm) 覆以鋁箔紙，剩餘的部分則浸在儲水瓶中。待 PVF 吸水穩定後，測定土壤水分潛勢(鈴木等 1984；蔡 1991)。所測得土壤水分潛勢如下表一。

Table 1. The length of polyvinyl formal used in relation to soil water potential.

PVF(cm)	60	45	30	15	5
土壤MPa	-1.23 a	-0.85 b	-0.65 c	-0.58 c	-0.56 c

結　果

一、病　徵

(1)水稻：

在葉片之病徵及嚴重性依品種之敏感性及薰蒸濃度而異。有褐色斑點、密生小褐色斑、白化斑、褐和白色之混合斑以及萎凋。褐色斑最先在葉緣及葉尖出現，後隨薰蒸時間而延葉脈向下擴大和癒合成大病斑，爲二氧化硫傷害最常見之病徵。但高雄秈2 號、嘉農秈選 8號等之成熟葉片在薰蒸後，會形成佈滿密生小褐色斑，隨著薰蒸時間而擴大，最後整葉呈褐色。而臺東 29 號、臺北139 號等品種先在中肋上出現褐斑，然後再向四周擴大，臺南秈 15 號及臺農秈 12 號等較敏感品種，在高濃度下會出現急性白色長條斑，如繼續處理會形成大褐白色混合壞疽斑，最後葉部分或全部萎凋。在低濃度 (400 ppb)薰蒸下除不出現急性病徵外，其它型之病徵在長時間薰蒸後也會出現，同樣的較耐性品種，除被害度較輕外病徵並無不同。

⑵大豆：

處理高濃度（800 ppb 以上）8 小時後即會造成葉脈間漂白，或嚴重水浸狀等病徵，漂白沿葉脈間逐漸擴大，除葉脈維持綠色外整葉漂白，而水浸狀病徵逐漸擴大，造成葉片捲曲、壞疽、枯乾或轉變成漂白病徵，並提早落葉。中低濃度（800 ppb 以下）處理8 小時後則部份葉片呈現漂白及水浸狀，繼續處理則葉片易黃化，有些品種葉脈間出現紅色斑駁（如高雄選 10 號），若處理時間加長，則呈現與高濃度處理類似的結果。

⑶玉米：

玉米處理800 ppb 後，新葉較容易受害，於葉尖出現水浸狀，並沿葉緣及葉脈間隙向下擴展，逐漸漂白，最後整個新葉變白並乾枯。中下位葉會呈現漂白及水浸狀病徵，由葉尖沿葉緣及葉脈間向下擴展，水浸狀逐漸漂白，但葉片並不乾枯。老葉受害較輕，最初只出現零散小黃斑，隨處理時間黃斑逐漸增多、擴大、並癒合而佈滿整葉片，最後出現壞疽病徵，這些葉片會提早黃化。

二、品種間對不同濃度二氧化硫之反應

⑴水稻：

本省育出的 138 種及13 種外來種，分四批分別薰蒸 400 、800或1600 ppb，處理結束的次日調查病徵級數。高濃度 (1600 ppb)下，敏感品種如高雄秈 2 號、台南秈15 號等，在第三天即出現明顯之長條形白化斑，最後出現萎凋現象，而耐性品種新竹 4 號、臺中 65號等則延數日才出現輕微之褐色斑，之後隨薰蒸時間而擴大、癒合成大褐色壞疽斑，所有的品種約在第五、六天才出現病徵。在 800 ppb薰蒸下，敏感品種如嘉農秈6 號等，約在第四天才出現褐色斑點，病徵隨之更嚴重。到處理結束時有些品種出現嚴重萎凋。

在 400 ppb 薰蒸下，敏感性品種如高雄秈 2 號在第七天葉片即佈滿小褐色斑點，隨著病徵陸續出現在其它品種上，但均不嚴重。處理結束時，一些耐性品種沒有病徵出現，而敏感品種葉片不會產生萎凋。

秈稻一般比粳稻敏感，病徵出現較早1 - 2 天，在低濃度下，秈稻和粳稻被害度之差異更明顯。第三、四批水稻在薰蒸時氣溫較低，病徵之表現時間延後，嚴重性也不如第一、二批處理之水稻。

在 400 ppb 薰蒸下而無病徵出現共 48個品種，重覆處理並延長處理至21天。結果嘉南 1 號、台南 2 號及台農 61 號等在第六天開始出現少數的褐色斑點，其中新竹 56 號、新竹 60 號、高雄 10 號、臺中178 號、臺中 1 87 號、臺農 16 號、臺農 67 號、臺北 139號、臺北 306 號及臺東 27 號直到處理結束時都沒有病徵出現。

⑵大豆：

大豆116 品種分成兩批處理，種植20天後，分別處理200、400、600 ppb，分別處理 11 天、8 天、4 天（每天 8 小時）後調查病徵並計算其被害度。經600 ppb處理者其

複葉有6.9%爲敏感品種，24.1%爲中感品種，25% 爲中耐品種，44% 爲耐性品種。經400ppb 處理，有 3.4% 中感品種，19.8% 爲中耐品種，76.7% 爲耐性品種。經 200ppb 處理後，僅 0.9% 爲中感品種，99.1% 爲耐性品種。大豆初級葉較複葉敏感易受傷害。高濃度二氧化硫對大豆造成的傷害遠比低濃度二氧化硫嚴重，並隨處理時間的增長，兩者傷害皆趨嚴重。品種間對二氧化硫有不同的忍受性，但因種植時間不同，亦會影響其對二氧化硫的感受性，通常夏作大豆較易受二氧化硫傷害，而秋冬作則較不易，受害較輕。其中 Palmetto, Dfootan, Huang-Pan-Tsu, Hybrid 2217, Harhisoy, YEA 21屬敏感品種，而Acadianex dcragen, Clay, Pelican, Sir-Banaoh-Yuki 則較屬耐性品種。

(3)玉米：

玉米 1721 品系，分四批篩選，種植 10 天後分別處理 800 ppb，各處理 5 天（每天 8 小時）後調查病徵，並分級計算其被害度。

結果有 0.5% 爲敏感品系，11.5% 爲中感品系，47.6% 爲中耐品系，40.3% 爲耐性品系。玉米在其品系間對二氧化硫雖有程度上的差異，但整體而言，玉米應屬較耐性的作物。其中 T 228-2, T 49-3,T 553-1, T 964-2, T 86 9-2, T 976, T 997-2, T 1900, T 1898, T1 719-2 較敏感，而 T 112, T 184-1 , T 734, T 762, T 1432-1, T1180-1、T 1767-1、T 1738-2 則較耐性。至於五種推廣品系則以台南 5 號較具耐性。

三、影響二氧化硫對農作物傷害之因子

(一)溫度

(1)水稻：

二十不同耐性的品種，經800 ppb薰蒸，溫度分別爲33±1℃、30±1℃或25±1℃。在 33℃ 之中，第一天處理後即有 9 個品種（高雄秈 2 號、臺農 16 號、臺東 28 號、臺中秈 16 號、臺北306號、嘉南 3 號、臺南 5 號、臺農秈 20號及臺中糯70 號）出現褐色斑點的病徵。在 30℃ 中有 4 個品種（臺東 28號、臺農 67 號、臺中糯 70 號及嘉南 5號）出現病徵，而 25 ℃第一天則無任何品種出現病徵。品種對三種不同溫度的被害度如表二所示。

被害度經統計分析發現，大部份之水稻品種（16個）在不同溫度下有顯著差異（25 ℃ 與 33 ℃），其中較耐性之粳稻幾乎均有差異，反而敏感性之高雄秈2 號及臺中秈 16 號等卻在三種溫度下無顯著差異，臺農 37 號則與其他品種相反，在 25℃ 下被害度較高。

Table 2. Effect of temperature on the severity of injury of rice plants by sulfur dioxide.@

Varieties	Average temperature (℃)		
	33	30	25
Cas 209	36.11a	27.27b	29.82b@@
Chianan 1	18.39a	9.42b	12.25ab
Chianan 3	23.23a	10.00b	10.77b
Chianan 5	21.33a	14.85ab	11.54b
IR 1545-339	58.93a	58.33a	56.67a
Kaohsiung Sen 2	64.80a	57.73a	61.27a
Kaohsiung Sen 7	63.35a	62.00a	44.60b
Taichung Glutinous 70	15.59a	7.41b	9.06b
Taichung Sen 5	47.92a	33.33b	42.71a
Taichung Sen 16	40.94a	47.80a	33.33a
Tainan 5	25.81a	14.07b	13.47b
Tainang 16	17.16a	4.56b	9.32b
Tainang 37	7.57b	2.34b	16.24a
Tainang 67	32.55a	14.08b	10.61b
Tainang Sen 20	74.68a	54.08b	42.35b
Taipei 139	26.55a	11.98b	10.54b
Taipei 306	27.38a	22.96a	11.49b
Taitung 25	19.31a	16.74ab	8.93b
Taitung 28	20.35a	6.25b	12.35ab
Taitung 29	27.25a	25.06a	23.69a

@ Concentration of sulfur dioxide: 800 ppb, duration of treatment: May 9 -14，1990，6 hrs /day.

@@ Degree of injury(%), each data was the mean value of two replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(2)大豆：

大豆五品種 (Palmetto, Hybrid 2217, Kaoshiung sel. 10, Acadi anex dcragen, Yellamela) 種植 32 天後分別在三種溫度下處理 800 ppb，處理四天後，調查病徵，並計算其被害度。

大豆於三種溫度下處理二氧化硫，不同處理間差異明顯。於高溫(35 ℃) 處理二氧化硫，病徵出現較早，病勢亦較嚴重。中低溫(30、25℃) 則較輕微。五品種中以 Acadianex dcragen 較不受溫度影響（表三）。

Table 3. Effect of temperature on the sensitivity of soybean fumigated with SO_2 @.

Varieties	Temperature (℃)		
	25	30	35
Palmetto	4.01b	38.58a	49.63a @@
Hybrid 2217	3.77b	49.40ab	59.62a
Kaughiung sel.10	0.61b	28.96ab	38.15b
Acadianex dcragen	3.20a	7.68a	11.26a
Yellamel	4.38b	13.38ab	22.29a

@ Plants were treated 32 days after sowing for 4 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2.

@@ Degree of injury(%), each data was the mean value of eight replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(3)玉米：

玉米五品系(Tainan 5, Tainung 351, Honey Sweet 236, Tainansel. 10) 種植 10 天後分別在三種溫度下處理 800 ppb，處理五天後調查病徵，並計算其被害度。

玉米於三種溫度下處理二氧化硫，不同處理間差異不明顯。台南5 號 於低溫 (25℃)下受害較嚴重（低溫受害度爲7.72%，高溫時爲3.81%），其它品系雖於低溫下病勢稍增加，但並不顯著（表四）。

由以上顯示溫度仍會影響農作物對二氧化硫之反應，但不同作物間可能有異。

㈡光照

(1)水稻：

在處理的六天中，薰蒸室中之平均光照爲1701 Lux，無遮陰者第一天敏感性品種即出現病徵，其餘品種也隨薰蒸時間增加而陸續出現病徵，且病徵日益擴大。在遮陰架之敏感性品種高雄秈2 號，在第二天才出現少數的褐色斑點，但並不嚴重。有些品種甚至沒有病斑出現（如台東 28 號）。品種間之被害度如表五。

被害度經統計分析發現，共十品種有顯著差異，敏感性之秈稻品種對光照有顯著反應，其被害度可因光照降低而銳減，臺農秈 20 號之被害度甚至減少 90 % 以上。

Table 4. Effect of temperature on the sensitivity of corn fumigated with SO_2 [@].

Varieties	Temperature (℃)		
	25	30	35
Tainan 5	7.72a	5.28ab	3.81b[@@]
Tainung 351	11.21a	9.70a	8.18a
Honey	2.45a	0.92a	3.23a
Sweet 236	2.88a	1.96a	1.74a
Tainan 10	6.97a	9.07a	5.74a

[@] Plants were treated 10 days after sowing for 5 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2.
[@@] Degree of injury(%), each data was the mean value of eight replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

而有較耐性之粳稻品種品中，被害度的減少情形不一，有的無顯著差異，有的卻可以減少 80 % 以上。

Table 5. Effect of sunlight on the severity of injury of rice plants by sulfur dioxide[@].

Varieties	Degree of Injury	
	Unshading	Shading[@@]
Chianan 1	9.52a	2.86b[@@@]
Chianan 3	9.56a	1.92a
Chianan 5	14.70a	7.09a
IR 1545-339	37.04a	28.33a
Kaohsiung Sen 2	49.96a	24.23b
Kaohsiung Sen 7	33.79a	8.16b
Taichung Glutinous 70	11.18a	2.29b
Tainan 5	17.11a	7.38b
Tainung 16	7.50a	0.00b
Tainung 37	6.85a	7.38a
Tainung 67	13.89a	4.19b
Tainung Sen 20	44.02a	3.60b
Taipei 139	4.06a	2.64a
Taipei 306	14.41a	1.92b
Taitung 25	16.89a	5.84b
Taitung 28	13.83a	8.83a
Taitung 25	13.19a	8.66a

@ Concentration of sulfur dioxide: 800 ppb, duration of treatment: May 9 -14，1990，6 hrs/day.

@@ Average unshading sunlight: 1701 lux average shading sunlight: 228 lux.

@@@ Degree of injury(%), each data was the mean value of two replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

⑵大豆：

大豆五品種（同溫度處理）種植30 天後處理 800 ppb ，處理八天後調查病徵，區分級數並計算其被害度。遮光與不遮光處理比較，大部分品種間並無差異，光照強弱影響二氧化硫危害程度並不大。僅敏感性品種(Palmetto) 於不遮光處理較嚴重 (10.59%)，遮光處理較輕 (3.74%)（表六）。

Table 6. Effect of light intensity on the sensitivity of soybean to sulfur dioxide @.

Varieties	Shading	Unshading
Palmetto	3.74b	10.59a @@
Hybrid 2217	7.33a	16.70a
Kaushiung sel. 10	1.64a	4.84a
Acadianex dcragen	1.07a	0.61a
Yellamel	2.10a	1.67a

@ Plants were treated 30 days after sowing for 8 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2.

@@ Degree of injury(%), each data was the mean value of four replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(3)玉米：

玉米五品系（同溫度處理）種植10天後處理 800 ppb ，處理五天調查病徵，區分級數並計算其被害度。

遮光與不遮光處理比較，大部分品種間並無差異，光照強弱影響二氧化硫危害程度並不大。僅敏感性品系（台南5號）於不遮光處理較嚴重 (9.94%) ，遮光處理較輕微 (3.18%)（表七）。

由上述可知光照影響水稻對二氧化硫之反應較大，而對大豆和玉米之影響並不明顯。

Table 7. Effect of light intensity on the sensitivity of corn to sulfur dioxdie @.

Varieties	Shading	Unshading
Tainan 5	3.81b	9.94a @@
Tainung 351	10.40a	17.02a
Honey	2.77a	3.79a
Sweet 236	5.94a	5.96a
Tainan 10	8.63a	15.15a

@ Plants were treated 10 days after sowing for 5 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2.

@@ Degree of injury(%), each data was the mean value of four replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(三)風速

A.水稻

水稻兩品種 (Kaohsiung Sen 2, Taichung Glutinous 70) 種植45 天後於 80 年 11 月 9 日起處理 800 ppb 之二氧化硫，燻蒸室控制溫度爲30±2℃，相對濕度 50%≦RH≦70%，總日照128.34 cal/cm^2，風速0.8 m/s，處理6 天（每天8 小時）後調查病徵並計算被害度。

僅耐性品種（台中糯 70 號）在較高風速下被二氧化硫傷害較嚴重，敏感性品種台中糯 70 號在測試之兩風速下並沒有顯著差異（表八）。

Table 8. Effect of wind speed on the degree of injury of rice plants by sulfur dioxide.

Varieties	Wind speed (m/s)	
	2.6	0.8
Kaohsiung sen.2	48.78 a	40.94 a @
Taichung glutinous 70	18.79 a	10.53 b

@ Degree of injury(%). Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

B.大豆

大豆兩品種 (Hybrid 2217, Acadianex dcragen) 種植 60 天後於 81 年 2 月12 日起處理 800 ppb 之二氧化硫，燻蒸室控制溫度爲30±2℃，相對濕度 70%≦RH≦90%，總日照 82.8 cal/cm^2，風速0.8 m/s，處理6 天（每天6 小時）後調查病徵並計算被害度。

僅敏感性品種 Hybrid 2217在較高風速下被二氧化硫傷害較嚴重，而耐性品種在兩風速下並沒有顯著差異（表九）。

Table 9. Effect of wind speed on the degree of injury of soybean by sulfur dioxide.

Varieties	Wind speed (m/s)	
	2.6	0.8
Hybrid 2217	31.37 a	17.30 b @
Acadianex dcragen	2.13 a	1.73 a

@ Degree of injury(%), Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(四)相對濕度

A.水稻：

水稻兩品種 (Kaohsiung Sen 2, Taichung Glutinous 70) 種植55 天後於81年9 月21 日起處理800 ppb 之二氧化硫，燻蒸室控制溫度爲30±2℃，四種相對濕度(87%, 70-87%, 50-70%, 30-50%)，總日照124.2 cal/cm^2，風速0. 8 m/s，處理5 天（每天6 小時）後調查病徵並計算被害度。

耐性品種（台中糯70號）在相對濕度RH≧70% 下比相對濕度低者受二氧化硫傷害有明顯增加，大約增加一倍，敏感品種高雄秈 2 號在不同相對濕度下受二氧化硫傷害則無明顯差異（表十）。

Table 10. Effect of relative humidity on the degree of injury of rice plants by sulfur dioxide.

Varieties	Relative humidity (%)			
	87	70-87	50-70	30-50
Kaohsiung sen. 2	42.95 a	48.50 a	45.31 a	43.95 a @
Taichung glutinous 10	13.69 b	17.33 a	7.40 c	7.76 c

@ Degree of injury(%), Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

B.大豆：

大豆兩品種 (Hybrid 2217, Acadianex dcragen) 種植 30 天後處理 800 ppb 之二氧化硫，燻蒸室控制溫度爲30±2℃，四種相對濕度 (88%, 65- 85%, 50-70%, 20-40%)，總日照 124.2 cal/cm^2，風速0.8 m/s，處理3 天後調查病徵並計算被害度。

不管是耐性或敏感品種在相對濕度較高下，受二氧化硫傷害皆較嚴重，其差別極大，兩品種在相對濕度 88% 下，其受害度超過60%，而在低相對濕度 20-40%下，敏感性品種受害度 5% 以下，耐性品種則沒有外觀病徵（表十一）。

Table 11. Effect of relative humidity on the degree of injury of soybean by sulfur dioxide.

品種	Relative humidity (%)			
	88	65-85	50-70	20-40
Hybrid 2217	84.00 a	30.47 b	11.23 c	3.98 c @
Acadianex dcragen	62.46 a	8.96 b	1.99 b	0.00 b

@ Degree of injury (%). Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05). Plants were treated for three days (6 hr/day) started from Octoder 2, 1992.

㈤二氧化碳

⑴水稻：

水稻 5 品種經一個月後定植，處理 800 ppb 二氧化硫和三種二氧化碳濃度；800，400，或195-360 ppm。共處理五天後調查被害度。薰蒸後第一天，臺農秈 20 號與高雄秈2 號在各處理即有褐色斑塊出現，但以不另添加二氧化碳的病徵比較嚴重，經統計分析不另添加與添加至400 ppm 者之間並無顯著差異，但與添加至800 ppm 者之間有顯著差異，表示添加至800 ppm 二氧化碳能夠減少受害程度，臺東29號、臺中糯 70 號及臺農 37 號三品種較明顯（表十二）。

⑵大豆：

大豆五品種種植 31 天處理四天後，調查病徵並計算其被害度。添加至 800 ppm 二氧化碳會使所有品種之被害度降低，敏感性品種(Palmetto, Hybrid 2217)病徵至處理第三天才出現。添加至400 ppm二氧化碳則病勢稍微嚴重，敏感性品種其病徵於處理第一天即會出現。而不添加二氧化碳 (280-340 ppm)處理則病勢相當嚴重，幾乎所有品種於處理第一天均出現病徵且隨處理時間加長而漸趨嚴重（表十三）。

Table 12. Effect of carbon dioxide on the severity of injury of rice plants by sulfur dioxide [@].

Varieties	Concentration of CO_2		
	800	400	195-360
Tainung Sen 20	32.937b	49.847a	49.894a [@ @]
Kaohsiung Sen 2	40.995b	46.816ab	53.482a
Taitung 29	3.122b	19.214a	26.567a
Taichung Glutinous 70	2.542b	16.190a	19.242a
Tainung 37	3.412b	15.553a	18.556a

[@] Concentration of sulfur dioxide: 800 ppb, duration of treatment: Apr. 17 - Apr. 21, 1991 8 hrs/day

[@ @] Degree of injury(%), each data was the mean value of four replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

Table 13. Effect of carbon dioxide on the degree of injury of soyabean fumigated with SO_2 [@].

Varieties	Concentration of CO_2 (ppm)		
	800	400	280-340
Palmetto	6.59c	16.60b	42.42a [@ @]
Hybrid 2217	15.47c	29.70b	51.10a
Kaoshiung Sel.10	2.12c	11.71b	28.31a
Acadianex dcragen	0.84b	4.73b	16.57a
Yellamel	0.70c	4.40b	13.56a

[@] Plants were treated 31 days after sowing for 4 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2 and different concentrations of CO_2.

[@ @] Degree of injury(%), each data was the mean value of eight replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(3)玉米：

玉米五品系種植21天後處理五天，結果這三種處理間並無顯著差異。顯示玉米對二氧化硫之反應並不因二氧化碳的添加而有明顯改變（表十四）。

由此可知二氧化碳濃度高低影響二氧化硫對植物之傷害因植物種類不同而異。

Table 14. Effect of carbon dioxide on the degree of injury of corn fumigated with SO_2 [@].

Varieties	Concentration of CO_2 (ppm)		
	800	400	280-340
Tainan 5	5.18a	7.73a	8.42a [@@]
Tainung 351	5.75a	7.15a	4.51a
Honey	3.15a	5.26a	4.00a
Sweet 236	4.81a	3.58a	4.78a
Tainan 10	6.91a	6.43a	5.14a

[@] Plants were treated 31 days after sowing for 4 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2 and different concentrations of CO_2.

[@@] Degree of injury(%), each data was the mean value of four replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(六)生長期

(1)水稻：

五種水稻臺農秈20號、高雄秈2號（敏感性品種）、臺東29號（中感性品種）、臺中糯70號及臺農37號（耐性品種），栽培95日、85日、75日、65日、55日及45日後處理濃度800ppb 13天。處理後調查被害度。

結果列於表十五，其中65日齡期中之臺農秈20號及高雄秈2號，以及75日齡期之臺農秈20號，在薰蒸第二天即出現分佈中肋附近之褐色斑，而在第三天時，除95日齡期外，其餘5個齡期之臺農秈20號及高雄秈2號均產生了中肋褐斑。直至第四天時95日齡期的敏感性品種才出現少許褐色斑，病徵亦隨薰蒸時間而趨嚴重。

經統計分析後發現五個品種不論敏感性如何，齡期間對二氧化硫之反應均有顯著之差異。大部分品種在65日及45日齡期者受害最嚴重，而95日齡期者受害最輕微，一般而言，齡期越長其被害度越小，其中臺中糯70號及臺農37號之反應較明顯。高雄秈2號之表現則與其他四品種不同，齡期愈長，傷害反而較大。

Table 15. The sensitivity of rice plants at different growth stages to sulfur dioxide[@].

Days after sowing	Varieties[@@]				
	Tnu S-20	Kh S-2	Tt-29	Tc G-70	Tnu-37
95	10.94d	56.79a	4.68c	3.27d	1.75e[@@@]
85	29.49bc	54.89ab	15.08b	7.02cd	3.07de
75	24.12c	49.16bc	12.41b	5.41d	6.48cd
65	35.14ab	52.64ab	23.32a	12.90b	11.80ab
55	25.46c	35.98d	16.40b	9.62bc	9.59bc
45	41.92a	44.55c	28.88a	16.94a	13.78a

[@] Concentration of sulfur dioxide: 800 ppb, duration of treatment: Nov. 26 - Dec. 8，1990 6 hrs/day

[@@] Tnu S-20 = Tainung Sen 20, Kh S-2 = Kaohsiung Sen 2, Tt-29 = Taitung 29, Tc G-70 = Taichung Glutinous 70, Tnu-37 = Tainung 37.

[@@@] Degree of injury(%), each data was the mean value of eight replicates. Data in each column followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(2)大豆：

大豆三品種 (Palmetto, Kaoshiung sel.10, Hualen 2) 每隔10天種植一批，計四批（分別爲31、41、51、61天，四種生育期），處理濃度 800 ppb 九天後，調查病徵並計算其被害度。

生育期愈短的植株，病徵出現愈快愈敏感。種植 31 天後處理比種植 41、51、61 天後處理呈現較嚴重的傷害，同時亦發現較耐性品種（花蓮 2 號、高雄選10 號）其不同生育期所遭受的傷害遠比敏感性品種(Palmetto)低（表十六）。

Table 16. Effect of growth stages on the sensitivities of soybean to SO_2 @.

Varieties	Days after sowing			
	31	41	51	61
Palmetto	23.88a	19.97a	10.82b	1.69c @@
Kaoshiung sel.10	15.36a	15.23a	15.43a	1.13b
Hualen 2	5.66b	19.29a	2.65b	0.47b

@ Plants were treated for 10 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2.

@@ Degree of injury(%), each data was the mean value of nine replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

(3)玉米：

玉米五品系每隔 10 天種植一批，計五批（分別爲 10, 20, 30,40, 50天，五種生育期），處理800 ppb 八天後，調查病徵並計算其被害度。

生育期愈短受二氧化硫傷害愈嚴重，且隨生育期之延長而傷害逐漸輕微。品系間僅台南5 號受害較輕微，顯現其較具耐性（表十七）。

Table 17. The growth stages of corn and its relation to the sensitivities to sulfur dioxide @.

Varieties	Days after sowing				
	10	20	30	40	50
Tainan 5	59.42a	28.84b	13.78c	7.42c	8.23c @@
Tainung 351	82.20a	54.49b	40.26bc	25.69c	10.01d
Honey	61.64a	47.65ab	35.02bc	19.50cd	12.21d
Sweet 236	81.95a	53.31b	26.88c	14.70cd	7.40d
Tainan 10	70.41a	57.07ab	36.72bc	26.03cd	9.81d

@ Plants were treated for 8 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2.

@@ Degree of injury(%), each data was the mean value of four replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

㈦土壤條件

1.肥料

(1)水稻：

水稻只做不同氮肥量，定植盆中裝 15 公斤砂質壤土，移植一個月幼苗，一週後分別加入三種不同量之尿素：半量 (3.23 克)、標準量 (6.45 克) 及二倍量 (12.9 克)。移植後天薰蒸 800 ppb 二氧化硫，薰蒸六天後觀察其病徵及調查被害度。

在添加了不同之氮肥後，三種處理之間病斑發生的開始日期與病徵型態並無差異，均在薰蒸第一天後即有敏感性品種如高雄秈2 號在葉片上出現褐色斑點，其他品種在第二、三天中也陸續出現病徵。

根據表十八中統計分析後可看出，臺農秈 20 號、高雄秈2 號與臺農 37 號三品種在高氮肥及低氮肥間有顯著差異，顯示高氮肥似可保護水稻，減輕二氧化硫對其之傷害。另外臺東 29 號與臺中糯 70號之被害度在三種不同濃度氮肥間無顯著差異，顯示氮肥之濃度對其吸收二氧化硫之能力並無影響。

Table 18. Effect of nitrogen levels on the severity of injury of rice plants by sulfur dioxide@.

Varieties	Nitrogen levels (g)		
	3.23	6.45	12.90
Tainung Sen 20	47.133a	46.831a	39.172b @@
Kaohsiung Sen 2	50.339a	48.507a	36.380b
Taitung 29	21.865a	28.691a	23.744a
Taichung Glutinous 70	11.740a	12.721a	9.489a
Tainung 37	16.416a	13.793b	7.462c

@ Concentration of sulfur dioxide: 800 ppb, duration of treatment: May 5 - May 10, 1991 8 hrs/day

@@ Each data is mean value of four duplications. Data followed by the same letter for each row are not significantly different at P = 0.05 based on Duncan's new multiple range test.

(3)大豆：

大豆五品種（同溫度處理）種植於 13 種不同肥料比率之土壤，種植 26 天後，處理四天再調查病徵並計算其被害度。

A.不同比例之氮肥

在不同比例氮肥施用後，經二氧化硫處理，不添加氮肥組在處理第一天即受到嚴重之傷害，大部分葉片均已達4 級以上之受害度，而處理至第四天後，幾乎完全達到6 級之受害度。不同品種間在處理過程中，以敏感性品種(P almetto, Hybrid 2217) 病徵出現較早，病勢亦較嚴重。各不同比例氮肥添加處理，不添加氮肥組與其它氮肥量組有明顯差異（表十九）。

B.不同比例之磷肥

僅敏感性品種(Hybrid 2217) 隨著磷肥添加比例之降低而受害度增高，其餘品種在不同比例磷肥施用後，並無明顯差異。在處理過程中，直到第二天敏感性品種才出現病徵，耐性品種則至處理結束仍無病徵出現（表二十）。

C.不同比例之鉀肥

各處理間並無明顯差異，僅敏感性品種(Palmetto, Hybrid 2217)被害度稍高。而耐性品種(Acadianex dcragen, Yellamela) 直至處理結束仍無病徵出現（表二十一）。

Table 19. Sensitivity of soybean grown in soil with different levels of nitrogen to sulfur dioxide @.

Ratio of N : P : K (g/10kg)	Varieties @@@				
	PMT	H 2217	KHS 10	AD	YLML
2 : 1 : 1	5.56b	0.00b	6.82b	0.00b	0.00b @@
1.5 : 1 : 1	12.78b	13.10b	6.77b	0.00b	0.00b
1 : 1 : 1	13.41b	12.08b	6.74b	0.00b	0.09b
0.5 : 1 : 1	16.92b	7.71b	4.70b	4.27b	1.39b
0 : 1 : 1	80.69a	83.49a	73.12a	69.79a	42.43a

@ Plants were treated 26 days after sowing for 4 days (8 hrs/day) with 800 ppb SO_2.

@@ Degree of injury (%), each data was the mean value of tow replicates. Data in each column followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

@@@ PMT=Palmetto , H 2217=Hybrid 2217, KHS=Kaoshiung sel.10, AD=Acadianex dcragen, YLML=Yellamel.

Table 20. Sensitivity of soybean grown in soil with different levels of phosphous to sulfur dioxide[@].

Ratio of N : P : K (g/10kg)	Varieties[@@@]				
	PMT	H 2217	KHS 10	AD	YLML
1 : 2 : 1	5.92a	4.36b	3.64a	0.00a	0.71a[@@]
1 :1.5: 1	2.38a	1.19b	5.58a	0.00a	0.00a
1 : 1 : 1	13.41a	12.08ab	6.74a	0.00a	0.09a
1 :0.5: 1	4.13a	14.04ab	1.62a	0.00a	0.00a
1 : 0 : 1	6.53a	27.38a	6.57a	0.00a	0.00a

[@], [@@], [@@@] are the same as table 9.

Table 21. Sensitivity of soybean grown in soil with different levels of potassium to sulfur dioxide[@].

Ratio of N : P : K (g/10kg)	Varieties[@@@]				
	PMT	H 2217	KHS 10	AD	YLML
1 : 1 : 2	12.76a	4.83a	2.55a	0.00a	0.00a[@@]
1 : 1 :1.5	10.19a	17.82a	4.88a	0.00a	1.04a
1 : 1 : 1	13.41a	12.08a	6.74a	0.00a	0.09a
1 : 1 :0.5	8.93a	14.47a	15.09a	0.00a	0.00a
1 : 1 : 0	0.20a	7.31a	1.77a	0.00a	0.00a

[@], [@@], [@@@] are the same as table 9.

2.土壤水份潛勢

大豆兩品種 (Hybrid 2217, Acadianex dcragen) 種植30天後處理800 ppb 之二氧化硫，燻蒸室控制溫度爲30±2℃，相對濕度50%≦RH≦70%，總日照 124.2 cal/cm^2，風速 0.8 m/s，處理7 天後調查病徵並計算被害度。

在土壤含水分少時，大豆受害較輕微，土壤水份潛勢低於 -0.85 MPa 時幾乎沒有病徵出現，而土壤水份潛勢超過-0.56 MPa 時受害嚴重，Hybrid 22 17 受害度約 80%。耐性品種 Acadianex dcragen在土壤水份潛勢 -1.23 MPa 時沒有病徵，而在 -0.56 時受害度高達12.75%（表二十二）。

Table 22. Effect of soil water potential on the severity of injury of soybean by sulfur dioxide.

Varieties	Soil water potential (MPa)				
	-1.23	-0.85	-0.65	-0.58	-0.56
Hybrid 2217	0.32 c	0.67 c	13.85 bc	24.83 b	79.33 a @
Acadianex dcragen	0.00 b	1.67 b	1.88 b	3.00 b	12.75 a

@ Degree of injury (%), each data was the mean value of four replicates. Data in each row followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P=0.05).

討　　論

農作物和其它植物一樣對二氧化硫之容忍性差異頗大，水稻、玉米和大豆三者大豆最敏感，玉米和水稻較有容忍性 (李和李 1984；無名氏 1990；Anon. 1978)。即使是同一作物，因品種（系）不同，對二氧化硫之容忍性及反應亦有所差異 (林 1982；Biggs and Davis 1980；Bressen *et al.* 1978；Sandhu and Gupta 1989；Shertz *et al.* 1980；Smith and Davis 1978)。而且不論二氧化硫濃度高低，長期二氧化硫燻蒸，都會使植物受更嚴重的傷害 (游 1983；Anon. 1978)。二氧化硫侵入葉片後會形成硫酸鹽類及亞硫酸 ($SO_3^{=}$)，亞硫酸還原能力很强，毒性較高，植株受害較輕時葉片會有部分白化及棕色並易黃化之病徵，而傷害嚴重時會造成葉片白化，暗綠色水浸狀病徵或壞疽現象，水浸狀逐漸轉爲漂白，最後產生離層造成葉片掉落 (Anon. 1978)。本文依葉面受二氧化硫造成傷害的面積，區分不同受害程度，來判斷其敏感性，從水稻151個品種、大豆 116 個品種及玉米 172i 個品系，分別測試其受害程度。大豆較敏感品種，於處理高濃度二氧化硫 (800 ppb 以上) 後第一天（8 小時）即會出現水浸狀及漂白病徵

，處理低濃度(800 ppb以下）則需數天才會出現病徵，且均會隨處理時間增長而漸趨嚴重，漂白病斑逐漸癒合擴大，而只剩葉脈仍呈綠色，葉片並會捲曲萎縮，最後乾枯掉落，水浸狀病斑亦逐漸擴大，轉變爲漂白病徵或乾枯捲曲，最後掉落。玉米處理800 ppb 二氧化硫，較敏感品系處理第一天便會於葉尖出現漂白病徵，通常新葉會出現水浸狀長條病斑，並沿葉緣逐漸向下擴展，中感品系於處理第三天亦會出現病斑，極耐抗性品系則於處理過程中幾乎無病徵出現，病斑隨處理時間而逐漸擴大癒合向下蔓延，最後葉片逐漸枯乾，玉米株齡較大時其葉片會出現黃色斑點，斑點並會癒合而佈滿整個葉片，但不會如漂白病徵會導至葉片乾枯。

而測試之水稻 151品種間的被害度差異也很大，病徵型態多樣化，有萎凋、急性的白色透化斑、嚴重的褐色癒合斑、密生小褐斑、褐色斑及黃化等不同之表現。而在低濃度 (400 ppb)處理下，有些品種不出現病徵。可見植物對二氧化硫之反應如同對病原菌一樣，有很大之差別。最後一批水稻處理時，因爲已到冬季低溫之故，使病徵的表現沒有前面三批嚴重。秈稻品種對二氧化硫之敏感性普遍比粳稻高，其原因爲何，有待進一步探討。有些粳稻品種，如臺東 29 號，其親本具有秈稻之基因 (無名氏 1987)，故其表現呈中度敏感性，這或許可以解釋爲何有些粳稻品種也會有較嚴重的被害度出現之現象。

就整體言，水稻和玉米爲較耐性作物，大豆則爲敏感性作物。玉米與大豆受二氧化硫傷害後之病徵是否可作爲診斷之依據？由於漂白病徵在其它生物寄生性病害與生理性病害很少見到，似乎可以依此作爲判斷依據，但由於田間空氣污染源的種類很多，其相互間的作用並不清楚，是否有其它效應出現，無法斷言。若像玉米有黃色斑點則很難去判斷引起之原因，且謝氏 (1988) 指出風害於玉米所造成之病徵跟空氣污染物所造成之症狀極易混淆不清，故病徵可以作爲診斷的輔助工具，卻無法依病徵做爲唯一判斷依據。

游氏 (1983) 發現大豆受二氧化硫傷害，以夏作受害反應最快，春作次之，冬作則影響較慢。本研究發現夏季處理水稻和大豆傷害較嚴重，秋冬則較輕，但病徵形態並無差別。玉米於不同季節處理並無明顯差異。游氏認爲是因夏季高溫之影響，但在本實驗整年處理二氧化硫過程中均維持於 28～32℃ ，溫差應不是影響因子，而可能於不同時期播種，於夏季生長勢强，植物組織較鬆散而導致較敏感，而冬季生長勢較緩組織較密緻而較具耐性，亦可能由於不同季節光照强度有很大差異。

植物不同生育期或不同部位對二氧化硫呈現不同敏感性，Berry (1974)發現松樹幼苗8～10星期大，對二氧化硫最敏感，Grunwald (1981)則認爲大豆成熟的葉片較敏感，Olszyk 和 Tibbites (1982) 發現豆類未展開的葉片較具耐性，Smith 和 Davis (1977) 指出蘇格蘭松以子葉最耐二氧化硫，Sekiya等(1982)則發現胡瓜幼葉比成熟葉具耐性。本研究經以水稻、大豆和玉米於種植後不同之生育天數處理二氧化硫，發現不管是耐性或感性品種，均以幼苗最敏感，且隨生育天數增加而受害漸減，顯然這三種作物其生育齡期愈大愈有耐性。

光照强度是否會影響植物對二氧化硫之反應？一般認爲二氧化硫進入植物體內主要是經由氣孔(Elkiey and Ormrod 1979； Heck and Dunning 1978；Mclaughlin and Taylor 1981； Rist and Davis 1979； Rosen *et al.* 1978)，氣孔開閉程度會影響氣體進入之速率，氣孔開啓大時，二氧化硫進入速率快，植物易受傷害，開啓小時，二氧化硫進入速率慢，植物受傷害較小。

光照强度會影響氣孔開閉，光照強時氣孔開啓，光照弱時氣孔閉合，使植株對二氧化硫呈現不同敏感性，但因植物種類不同其反應亦異，例如馬鈴薯氣孔是於夜間才開啓，故晚上受二氧化硫傷害較嚴重。另一方面Majernik和Mansfield認爲在光照下，SO_2使氣孔不正常開啓，使組織與二氧化硫接觸時間增加，同時造成水分逆境，使植物嚴重受害 (Majernik and Mansfield 1970)。本實驗顯示秈稻被害程度有顯著降低，秈稻對光照具有較高之敏感性，遮蔭使氣孔開度減少而使傷害率降低。而粳稻品種間呈現的不同反應，可能是品種間對光照反應不同所致。但在遮光下大豆和玉米之傷害並無顯著減少，僅敏感性品種會有些微病勢減輕傾向。

溫度是影響光合作用的重要因子之一，尤其在强光之下，對二氧化碳固定反應系統的能力及光合速率方面的影響更是顯著 (林 1984)。由於二氧化硫經由氣孔而進入植物體中，因此凡能影響光合作用中氣孔運動的因子，均會影響二氧化硫之吸收。在一定溫度範圍內，光合速率隨溫度的上升而增加，超過此範圍光合作用速率反而降低 (林 1984)。

溫度亦會影響植物對二氧化硫之反應，高溫下植物易受二氧化硫傷害 (Heck and Dunning 1978；Rist and Davis 1979)，低溫下二氧化硫傷害較低 (Anon 1978)，但通常 18～40℃間溫度差異並不影響植物對二氧化硫之反應。而本研究發現，水稻在高溫(32℃) 與低溫 (25℃)薰蒸後之被害度間有顯著之差異，在高溫下受傷害較大，大豆於高溫(35℃)下易受傷害，低溫(25℃)受傷害較小，但大部份大豆品種於此三種溫度下受二氧化硫傷害並無顯著差異。同樣地玉米於處理的不同溫度下也無明顯差別。由此結果顯示，水稻對二氧化硫之反應受溫度影響，而大豆和玉米則影響不大，可能本試驗之溫差範圍不夠大。

風速高時會造成二氧化硫較之傷害，如黑麥草在高風速(25 m/min)所造成葉面積、乾重的減少比低風速(10 m/min) 大，蕃茄和胡瓜在高風速下傷害嚴重 (Ashenden and Mansfield 1977； Brennan and Leone 1968)，本研究得到類似結果，大豆與水稻一些品種在高風速下受二氧化硫之傷害較嚴重。

大氣中存在著各種不同的氣體，這些氣體（如O_3，NO_2）互相間可能有不同作用（如協力、加成、拮抗作用），而影響植物對二氧化硫之反應 (Anderson *et al.* 1988；Ashenden and Mansfield 1978；Beckerson and Hofstra 1979, 1980； Beckerson *et al.* 1979；Heagle *et al.* 1974)。二氧化碳是光合作用之原料，其濃度與光合作用有絕對關係，理論上濃度高時植物光合作用强，氣孔開啓大吸收二氧化碳速率較高，二氧化硫進入植物體應較容易，植物較易受傷害。但經使用不同濃度二氧化碳添加於二氧化硫中，處理水稻、大豆與玉米，卻發現二氧化碳濃度添加到 800 ppm 時，這些作物受傷害反而有明顯降低，這似乎與一般的觀念相衝突。Bennett 和 Hill (1973)認爲 $SO_3^=$ 會與CO_2 競爭 Ribulose-1, 5-diphosphate carboxylase 上之作用點，使光合作用受抑制，但當二氧化碳濃度增高時，$SO_3^=$ 取代 CO_2 會變得困難，而減少 $SO_3^=$ 之傷害。

氮素爲植物體內最重要有機成分，缺氮時葉片呈現淡綠色，老葉提早變黃及乾枯或脫落，生長延緩，但過量氮肥易使細胞形大而壁薄，對不良氣候及病蟲害之抗性減弱，氮肥會影響植物吸收二氧化硫，Will and Skelly在White Pine 施用25-9-9 之肥料，可減輕空氣污染物引起之新葉黃化 (Will and Skelley 1974)。李和李指出氮充足時，可減少二氧化硫對植物之傷害

(李和李 1985)。本研究得到類似結果，水稻在高氮肥下比在低氮肥之被害度有顯著降低，而在不同比例N、P、K 土壤種植大豆後處理二氧化硫，則以不施用氮肥者受傷害最嚴重，部分品種於缺磷肥時也較容易受傷害，其它處理則無明顯差異。這可能氮肥會中和葉片內二氧化硫所造成之酸性，或是與二氧化硫結合使其形成無毒之型態（如硫酸銨等），而降低對作物之傷害 (李和李 1985)。另一方面由於氮是構成氨基酸及蛋白質的主要成分，亦是形成酵素之重要物質，當缺乏時一些能分解二氧化硫毒性的酵素合成速率較慢，所以當遭受二氧化硫毒害時，受害較嚴重。而磷爲細胞膜重要成分，缺乏時細胞膜可能較不健全，易受二氧化硫之傷害。

Heagle等 (1973, 1979) 認爲採用人工環境所設計之燻蒸室，應用於植物處理二氧化硫，可能會對植物造成很大的逆境(stress)，其結果往往比田間自然環境下嚴重，因需牽涉到風速，溫濕度，光照等因子，常使得問題更趨複雜，因此其認爲實驗室之研究只能列爲參考，不能據此而評估田間情形。有關二氧化硫方面的研究很多，但常有不同的結果出現，追究其原因，不外是作物、品種、濃度、環境因子等不同所影響，不過燻蒸室設計不同也可能是原因之一。本研究所設計之玻璃燻蒸室，日照完全來自日光，溫度和相對溼度可以控制，因此和自然界應沒有很大差別，應可以代表實際田間發生之狀況。

由以上可以了解不同植物對二氧化硫有不同敏感性，即使是同一作物因品種（系）不同亦有很大的差異。植物生育期不同或植株不同部位對二氧化硫亦有不同敏感性。環境因子也會影響植物對二氧化硫之反應。我們不能單單用病徵來判斷是否由二氧化硫所引起之傷害。由本研究測出之耐性品種可以推薦給農地位於工廠附近的農民，以減少損失，也能提供做爲育成新品種的親本，希望將來能育出一些既耐污染、且淨化能力很强及高產量的品種，推廣至田間，以減輕因爲公害而引起的損失及減少公害糾紛。

誌謝：本研究承台灣省政府農林廳及行政院農委會資助研究經費。

引用文獻

李國欽　李貽華. 1984. 空氣污染爲害植物之診斷. 台灣植物保護中心印行.

李貽華　李國欽.　1985.　空氣污染對農作物之影響. I. SO_2 之影響. 科學農業 33(1-2):60-67.

林安秋.　1984. 作物之光合作用. p. 211. 臺灣商務印書館.

林國銓. 1982. 二氧化硫對七種樹種葉部之可見爲害. 臺灣省林業試驗所試驗報告第 379 號.

游碧堉. 1983. 大豆葉片受二氧化硫危害後在形態上之變化. 植保會刊 25: 99-107.

無名氏. 1987. 臺灣稻作品種圖誌. p. 339. 行政院農業委員會、臺灣省政府農林廳、亞太糧食肥料技術中心編印.

無名氏. 1990. 公害處理手冊. p.470. 台灣省政府農林廳編印.

鈴木義彥　鄭 青鎬　小田雅行　志村 清. 1984. 底面給水による野菜の鉢育法. 野菜試驗場報告 A.12:155-166.

鄭安靜. 1985. 二氧化硫對作物之影響及其機制. 科學農業 33 :77-83.

蔡智賢. 1991. 數種作物對水分之反應性. 國立中興大學博士論文.

謝慶芳. 1988. 指標作物監測空氣污染試驗. 台灣省台中區農業改良場特刊第 11 號.

Anderson, R. L., H. D. Brown, B. L. Chevone, and T. C. McCartney. 1988. Occurrence of air pollution symptoms (needle tipe necrosis and chlorotic mottling) on eastern white pine in the southern Appalachian Mountains. Plant Disease 72:130-132.

Anon. 1978. Diagnosing vegetation injury caused by air pollution. U. S. Environoment Protection Agency. Applied Science Associated, Inc.

Ashenden, T. W.,and Mansfield, T. A. 1977. Influence of wind speed on the sensitivity of ryegrass to SO_2. J. Exper. Bot. 28: 729-735.

Ashenden, T. W. and T. A. Mansfield. 1978. Extreme pollution sensitivity of grasses when SO_2 and NO_2 are present in the atmosphere together. Nature 273:142-143.

Beckerson, D. W. and G. Hofstra. 1979. Effect of sulphur dioxide and ozone singly or in combination on leaf chlorophyll, RNA, and protein in white bean. Can. J. Bot. 57:1940-1945.

Beckerson, D. W. and G. Hofstra. 1980. Effects of sulphur dioxide and ozone, singly or in combination, on membrane permeability. Can. J. Bot. 58:451-457.

Beckerson, D. W., G. Hofstra and R. Wukasch. 1979. The relative sensitivities of 33 bean cultivars to ozone and sulfur dioxide singly or in combination in controlled exposures and to oxidants in the field. Plant Dis. Reptr. 63:478-482.

Bennett, J. H. and A. C. Hill. 1973. Inhibition of apparent photosynthesis by air pollutants. J. Environ. Qual. 2:526-530.

Berry, C. R. 1974. Age of pine seedlings with primary needles affects sensitivity to ozone and sulfur dioxide. Phytopathology 64:207-209.

Biggs, A. R. and D. D. Davis. 1980. Stomatal response of three birch species exposed to varying acute doses of SO_2. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105:514-516.

Brennan, E. and I. A. Leone. 1968. The response of plant to sulfur dioxide or ozone-polluted air supplied at varying flow rates. Phytopathology 58:1661-1664.

Bressan, R. A., G. Wilson and P. Filner. 1978. Mechanisms of resistance to sulfur dioxide in the Cucurbitaceae. Plant Physiol. 61:761-767.

Elkiey, T. and D. P. Ormrod. 1979. Leaf diffusion resistance responses of three petunia cultivars to ozone and/or sulfur dioxide. J. Air Pollut. Control Association 29:622-625.

Grunwald, C. 1981. Foliar fatty acids and sterols of soybean field fumigated with SO_2. Plant Physiol. 68:868-871.

Heagle, A. S., D. E. Body and W. W. Heck. 1973. An open-top field chamber to assess the impact of air pollution on plants. J. Environ. Qual. 2:365-368.

Heagle, A. S., D. E. Body and G. E. Neely. 1974. Injury and yield responses of chronic doses of

ozone and sulfur dioxide in the field. Phytopathology 64:132-136.

Heagle, A. S., R. B. Philbeck, H. H. Rogers and M. B. Letchworth. 1979. Dispensing and monitoring ozone in open-top field chambers for plant-effects studies. Phytopathology 69:15-20.

Heck, W. W. and J. A. Dunning. 1978. Response of oats to sulfur dioxide: interactions of growth temperature with exposure temperature or humidity. J. Air Pollut. Control Association 28:241 -246.

Majernik, O. and T. A. Mansfield. 1970. Direct effect of SO_2 pollution on the degree of opening of stomata. Nature 227:277-278.

Mclaughlin, S. B. and G. E. Taylor. 1981. Relative humidity: Important modifier of pollutant uptake by plants. Science 211:167-168.

Olszyk, D. M. and T. W. Tibbites. 1982. Evaluation of injury to expanded and expanding leaves of peas exposed to sulfur dioxide and ozone. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:266-271.

Rist, D. L. and D. D. Davis. 1979. The influence of exposure temperature and relative humidity on the response of pinto bean foliage to sulfur dioxide. Phytopathology 69:231-235.

Rosen, P. M., R. C. Musselman and W. J. Kender. 1978. Relationship of stomatal resistance to sulfur dioxide and ozone injury in grapevines. Scientia Hortic. 8:137-142.

Sandhu, R. and G. Gupta. 1989. Effects of nitrogen dioxide on growth and yield of black turtle bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'Domino'. Environ. Pollut. 59:337-344.

Sekiya, J., L. G. Wilson and P. Filner. 1982. Resistance to injury by sulfur dioxide. Plant Physiol. 70:437-441.

Shertz, O. D., W. J. Kender and R. C. Musselmn. 1980. Effects of ozone and sulfur dioxide on grapevines. Scientia Hortic. 13:37-45.

Shimazaki, K., T. Sakaki, N. Kondo and K. Sugahara. 1980. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO_2-fumigated leaves of spinach. Plant & Cell Physiol. 21:1193-1204.

Smith, H. J. and D. D. Davis. 1977. The influence of needle age on sensitivity of scotch pine to acute doses of SO_2. Plant Dis.Reptr. 61:870-874.

Smith, H. J. and D. D. Davis. 1978. Susceptibility of conifer cotyledons and primary needles to acute doses of SO_2. Hort. Science. 13:703-704.

Will, J. B. and J. M. Skelly. 1974. The use of fertilizers to alleviate air pollution damage to white pine (*Pinus strobus*) Christmas trees. Plant Dis. Reptr. 58:150-154.